

中小急流河川における護岸粗度の機能と掃流力分布に着目した改修手法の提案

大日コンサルタント株式会社 環境・水工部 正会員 原田守啓

1. 研究の背景と目的

掘込河道の中小河川では、主に用地の制約から、河道の拡幅を最小限とし、単断面として河床を下げ、両岸を立ち護岸にする改修が一般的である。しかしながら、改修済みの河川において、写真-1のように、河道の安定が損なわれ、河床低下に起因して河道災害に至ったと考えられるケースも少なくなく、急流河川の河道改修では、計画構造物の力学的な照査にとどまらず、改修後の「河道の安定」を損なわない計画とすることが重要である。

そこで本研究では、中小急流河川における、より安全かつ経済的な改修方法を見出すことを目的とし、

- 1) 断面分割法による合成粗度係数が、川幅水深比 B/H が小さい単断面水路において実河道の粗度を適切に評価しうるか
- 2) 中小急流河川の改修において、流下能力と河床の安定を両立するにあたって、留意すべき事項と適切な断面計画

といった点に着目して、岐阜大学にて台形断面と矩形断面について粗度条件を変化させた水理実験¹²⁾を行い、中小急流河川における合成粗度係数算出法の適用性についての水理学的な考察を示すとともに、既往研究を踏まえて、河床面・護岸に作用する掃流力分布に着目した断面計画を提案するものである。



写真-1 改修済中小急流河川における河道災害の例
(平成16年台風第23号出水、岐阜県飛騨地方)

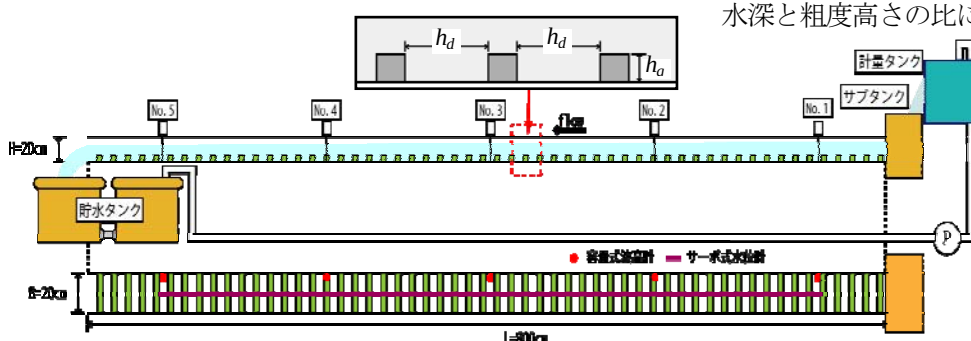


図-1 実験水路の概要と観測機器の配置、粗度設置間隔の定義

2. 合成粗度係数の不確実性について

単断面河道の河道計画・護岸設計実務に用いられる合成粗度係数は、流下断面を各潤辺長 S_i と各潤辺の粗度係数 n_i に支配される領域に分割し、「各分割面積部分の平均流速は互いに等しく、かつ全体の平均流速に等しい」との仮定に基づき、以下の式で表される。

$$n = \left[\frac{\sum S_i n_i^{3/2}}{S} \right]^{2/3} \quad (1)$$

この方法は、実用上取り扱いが簡便であり、古くから実務に用いられてきた方法であるが、本来は H.A.Einstein³⁾が流砂量に関する水理実験結果の整理のため、側壁の影響を除去して水路底面に作用する掃流力を算定するために簡易な取り扱いを仮定したものである。

本発表では、開水路乱流の三次元構造と境界面に作用するせん断力分布に関する既往の研究成果（楠津 1985., 富永 1987.等）に基づき、合成粗度係数の算出方法が前提とする仮定の不確実性を指摘し、その不確実性の程度を検討するために、実施した水理実験の結果のうち、実測された実験粗度係数と合成粗度係数との比較を示す。とくに壁面の影響範囲に密接に関係する川幅水深比 B/H との関係に着目して報告する。

3. 水理実験の概要と結果

(1) 実験の概要と実験ケース

底面幅 20cm (アルミ製)、側壁高さ 20cm (アクリル製)、水路長 8m の矩形断面水路に、粗度を設置しないケースと、5mm, 10mm 角正方形断面のアクリル棒を底面・側壁・全面にそれぞれ粗度間隔 3 段階で配置したケースについて、水路縦断勾配 5 段階 (1/400 ~ 1/25)、流量 10 段階 (4.0 ~ 18.0 l) の流況について、縦断面水面形及び断面内流況を計測した。実験水路の概要を図-1 に示す。

(2) 既知の抵抗特性に基づく合成粗度係数との比較

足立⁴⁾は、粗度による粗度係数は、粗度間隔及び水深と粗度高さの比に大きく影響されることを示してお



り、棧型粗度の鉛直二次元対数則を(2)式にまとめている。なお、本式の適用領域は $8 \leq h_d/h_g \leq 160$ であり、式中の H は鉛直二次元流れとみなした場合の水深を示す。

$$n = \frac{H^{1/6}}{\sqrt{g}} \left/ \left[\left\{ 5.75 + 0.12 \left(\frac{h_d}{h_g} \right)^{0.8} \right\} \log_{10} \frac{H}{h_g} + 1.50 \log_{10} \frac{h_d}{h_g} - 1.91 \right] \right. \quad (2)$$

(1)式が成立しているとして全潤辺の合成粗度係数を求めて、実験粗度係数と比較した結果を図-2に示す。

底面粗度については、 B/H が小さくなるにつれて、差が顕著になり、合成粗度係数に対して $\pm 10\%$ 程度の差を生じている。側壁粗度では、実験粗度係数が合成粗度係数を全体的に下回り、 B/H が大きくなるにつれて、差が拡大することが確認される。

すなわち、側壁に配置した粗度の抵抗効果は、断面分割法により期待される程は作用しないことを示しており、発表では、その他のデータも示しつつ考察を述べる。

4. 結論と提案

(1) 水理実験結果に基づく合成粗度係数の適用性

以下に、本研究で実施した水理実験の結論を示す。

- ・底面のみ粗度を配置したケースでは、水路幅水深比 B/H が小さい領域では、合成粗度係数と実験粗度係数の差が、断面効果により拡大する。
- ・側壁に配置した粗度の抵抗の効果は、側壁近傍に限定されており、断面分割法に基づく合成粗度係数を適用した場合、側壁の粗度が大きめに評価される。
- ・以上より、断面分割法に基づく合成粗度係数は、側壁の粗度を過大評価する傾向がある。

(2) 中小急流河川の改修にあたっての留意点と提案

本研究の成果を踏まえ、中小急流河川における改修時の留意点と、断面計画の考え方を提案する。

a) 河床面せん断力を閾値にして川幅水深比を設定

河床面に作用するせん断力に閾値を設けて、少なくとも $B/H \geq 5$ を目安として川幅を設定することを提案する。ただし、出水規模に応じた河床波の発生予測を併せて行い、改修後の河川の姿を予測して総合的に判断する。

b) 河床面せん断力の評価には水深を用いる

側壁の影響範囲は有限であって、その影響が及ばない領域では河床面に対して鉛直二次元対数則が成立するから、河床面に作用する掃流力の照査や、河床変動計算を行う際は、径深 R ではなく、水深 $h(h > R)$ を用いるべき。

c) 護岸粗度と法尻部の処理によって潤辺に作用するせん断力分布を滑らかにする

河床面が粗で護岸が滑な断面では、潤辺に作用するせん断力の大部分を河床が受け持つことになるから、法尻部に寄せ石するなどして断面形状を滑らかにするとともに、護岸の低い位置にある程度の粗度をもたせて、全潤辺にせん断力を分配して、河床面の負担を軽減する。

d) 施工時に弱点を作らない

護岸根入れ部の埋め戻しや河床整正時に、細かい材料が多く用いられると、出水時に流失し、河床の骨格材料のかみ合わせが期待できなくなることから、埋め戻し材料の粒径に注意する。

これらの提案は、「中小河川の河道計画の技術基準」に提示された「川幅を拡げる改修」と方向性を同じくするものであるが、川幅拡幅の度合いについて一定の論拠を与えるものであると考えている。実務に資する研究とすべく、引き続き検討を続けていきたい。

謝辞：本研究は、岐阜大学大学院社会人ドクターコースにおいて、藤田裕一郎教授（岐阜大学流域圏科学研究センター長）のご指導の下、実施しているものである。

参考文献

- 1) 原田守啓, 藤田裕一郎: 単断面河道における護岸粗度の抵抗特性と中小急流河川の護岸設計に関する一考察, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1009-1014, 2010.3
- 2) 原田守啓, 藤田裕一郎, 山中貴之: 中小急流河川における護岸粗度の抵抗特性に関する一考察, 河川技術論文集, 第 16 巻, pp.395-400, 2010.6
- 3) Einstein, H.A.: Formulas for Bed-Load Transportation, Trans. ASCE, vol.107, pp.575-577, 1942.
- 4) 足立昭平: 人工粗度の実験的研究, 土木学会論文集, 第 104 号, pp.33-44, 1964.

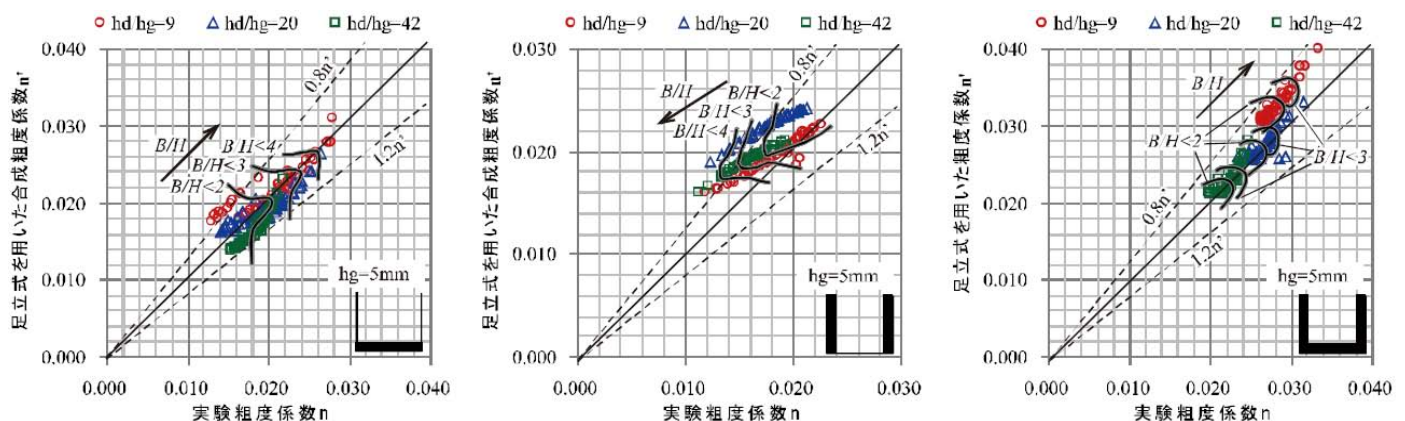


図-2 B/H の変化に対する底面棧粗度、側壁棧粗度、全面棧粗度の抵抗特性 ($h_g=5\text{mm}$)